

объеме печи с целью ликвидации зон повышенной температуры у пережима свода и в районе балок;

– футеровка печи. Футеровка стен и свода будут выполнены из керамического волокна, Z-блоками толщиной 400 мм. При реализации такого способа теплоизоляции температура наружной поверхности стен и свода не превысит 60 °С;

– перегородка между зонами печи. Устройство перегородки между зонами выдачи, байпасом и основной рабочей зоной печи позволит снизить тепловое влияние зон нагрева и выдачи друг на друга;

– АСУ ТП и КИП. Установка импульсной системы зонного регулирования тепловой мощности горелок. Изменение расположения стационарных термопар. Установка дополнительных термопар в зоне нагрева (ближе к торцу посада).

Поставляемое оборудование и ПО позволяет ПШБ работать как в автоматическом, так и в ручном режиме.

### **Список использованных источников**

1. Теплотехнические расчеты металлургических печей / Зобнин Б.Ф., Казяев М.Д., Китаев Б.И, Лисиенко В.Г., Телегин А.С, Ярошенко Ю.Г. Металлургия, 1982. – 360 с.

2. Металлургическая теплотехника / Кривандин В.А., Неведомская И.Н., Кобахидзе В.В., Белоусов В.В., Егоров А.В., Кружков В.А., Филимонов Ю.П., Штейнгардт Р. Металлургическая теплотехника. Том 2. Конструкция и работа печей. Учебник для вузов. В 2-х томах. – М.: Металлургия, 1986. – 592 с.

УДК 669.162.1

**Э. Р. Сабиров<sup>1</sup>, Д. Ю. Усольцев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup> ООО «Научно-Производственное Внедренческое Предприятие ТОРЭКС» (ООО "НПВП ТОРЭКС"), г. Екатеринбург, Россия

## **ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗНЫХ ФЛЮСУЮЩИХ ДОБАВОК ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ СОДЕРЖАНИЯ ЖЕЛЕЗА В КОНЦЕНТРАТЕ**

**Аннотация.** *Истощение запасов богатых железных руд и, соответствующее вовлечение в переработку месторождений с пониженным содержанием Fe, потребовало более глубокого их обогащения. В связи с совершенствованием методов обогащения и получением тонкоизмельчённых концентратов, которые невозможно использовать при агломерации возникло производство железорудных окатышей. В производство вовлекаются все новые виды руд из различных месторождений, поэтому полученные из них окатыши различаются по своим свойствам. Целью данной работы является сравнительное изучение свойств сырых, сухих и обожжённых окатышей полученных в лабораторных условиях при*

использовании концентратов с различным содержанием железа (т.е. с различной степенью обогащения) и добавлением разных флюсующих добавок.

**Ключевые слова:** окатыши, шихта, качество, прочность, обогащение, концентрат, добавка, флюсующие.

**Abstract.** *The depletion of rich iron ore reserves and the corresponding involvement in the processing of deposits with a reduced Fe content required deeper enrichment. In connection with the improvement of enrichment methods and the production of finely ground concentrates that cannot be used in agglomeration, the production of iron ore pellets has arisen. All new types of ores from different deposits are involved in the production, so the pellets obtained from them differ in their properties. The aim of this work is a comparative study of the properties of raw, dry and burnt pellets obtained under laboratory conditions using concentrates with different iron content (i.e., with different degrees of enrichment) and the addition of different fluxing additives.*

**Key words:** *pellet, charge, quality, strength, enrichment, concentrate, additive, fluxing.*

Истощение запасов богатых железных руд и, соответствующее вовлечение в переработку месторождений с пониженным содержанием Fe, потребовало более глубокого их обогащения. В процессе многостадийного измельчения с одновременным выделением «пустой» породы из процесса, увеличивается тонина помола и удельная поверхность производимого железорудного концентрата.

В связи с совершенствованием методов обогащения и получением тонкоизмельчённых концентратов, которые невозможно использовать при агломерации [1] возникло производство железорудных окатышей.

Шихта для производства окатышей на отечественных фабриках состоит из железорудного концентрата и связующей добавки (бентонитового порошка) (при производстве неофлюсованных окатышей), а также флюсующей добавки (известняка) (при производстве офлюсованных окатышей) [2].

Исследование возможностей использования при производстве железорудных окатышей новых флюсующих составляющих также производилось в различное время. Рассматривались в качестве флюса известь, доломит, марганцовистый и доломитизированный известняки, мел и т.д. [2], но учитывая технико-экономические показатели производства, в настоящее время повсеместно используется известняк. В качестве железорудной части шихты используют магнетитовые концентраты, полученные путём обогащения с помощью мокрой магнитной сепарации (с многостадийным измельчением и выведением из процесса пустой породы), и гематитовые концентраты, обогащаемые методом флотации (с использованием флотоагентов и разделением во флотомашинах взвешенных в воде относительно мелких твёрдых частиц (или их выделения из жидкости) по их способности прилипать к вводимым в суспензию газовым пузырькам с целью выделения «богатой» части) [2].

С вводом в эксплуатацию новых установок металлизации производство окатышей разделилось на два вида — доменные и для металлизации [3]. Для производства металлизированного сырья ввод в шихту известняка не является обязательным, так как более высокие требования предъявляются к содержанию железа, металлургическим свойствам и степени окисления окатышей [3]. В связи с повышенными требованиями к качеству окатышей для последующей металлизации важное значение приобретает более глубокое рассмотрение

процессов, происходящих при термообработке окатышей на обжиговой конвейерной машине [3].

Процесс производства окатышей из концентрата состоит из двух основных последовательных операций — получения сырых гранул заданного размера и последующего упрочнения их высокотемпературным обжигом [3]. В России обжиг окатышей производится преимущественно на машинах конвейерного типа [3]. Широкое их использование у нас и за рубежом вызвано высокой производительностью, возможностью управления и регулирования режимами термической обработки, пригодностью для обжига окатышей различного вещественного состава [3]. Обжиг окатышей сопровождается процессами сушки, окисления магнетита, разложений известняка, десульфурации, диссоциации гематита, твердо- и жидкофазного спекания [1]. Хорошо обожженные окатыши с оптимальным химическим составом могут транспортироваться от места производства до металлургических заводов и складироваться, сохраняя свою целостность вплоть до загрузки в доменную печь [4].

В производство вовлекаются все новые виды руд из различных месторождений, поэтому полученные из них окатыши различаются по своим свойствам [1]. В отечественной, так и в зарубежной практике проводятся многочисленные исследования, разрабатываются, испытываются и внедряются мероприятия, позволяющие улучшить металлургические свойства окатышей, повысить эффективность их производства и использования [2]. К их числу относят новые добавки, разные флюсы, режимы термообработки, оптимальную структуру и состав окатышей [2]. Таким образом целесообразно проводить научные исследования по изучению и введению в производство новых видов обожженных окатышей.

Целью данного доклада является сравнительное изучение в лабораторных условиях свойств сырых, сухих и обожженных окатышей при использовании концентратов с различным содержанием железа (т.е. с различной степенью обогащения).

В ходе работы на оборудовании Инженерного центра ООО «НПВП ТОРЭКС» (аналогичных лабораториям горно-обогатительных комбинатов) были проведены опыты с получением обожженных окатышей из трех типов концентратов с различным содержанием железа и добавлением трех типов флюсующих добавок.

По методике инженерной компании ООО «НПВП ТОРЭКС» получены пробы окатышей при использовании железорудных концентратов с содержанием железа в них  $66,6 \pm 0,2 \%$ ,  $68,18 \pm 0,2 \%$  и  $69,1 \pm 0,2 \%$ , бентонитового порошка и флюсующих добавок (известняк, доломит и марганцовистый известняк). Производились неофлюсованные окатыши и офлюсованные с основностью B2 (по двум компонентам,  $B2 = \text{CaO}/\text{SiO}_2$ ), равной 0,25 и 0,5. Исходными данными составления материального баланса для расчета количества шихтовых материалов при производстве окатышей являются химсоставы концентрата, известняка, бентонита и др. составляющих [1]. Химический состав приведен в таблице 1.

В таблице 2 приведены дозировки шихтовых материалов и качественные характеристики произведенных окатышей в выполненных опытах: влажность ( $W$ , %), эквивалентный диаметр ( $d_{\text{экв}}$ , мм), пластичность ( $n$ , раз/ок), прочность сырых ( $P_{\text{сыр}}$ , раз/ок), прочность сухих ( $P_{\text{сух}}$ , раз/ок) и прочность обожжённых ( $P_{\text{об}}$ , раз/ок) окатышей. При однотипности методики накатывания сырых окатышей (массы и диапазона размера зародышей, массы оставшейся для окомкования шихты, влажности шихты и т.д.), среднемассовый диаметр полученных окатышей, полученный в результате определения их гранулометрического состава (рассев по классам  $< 5$ ,  $5 \div 8$ ,  $8 \div 10$ ,  $10 \div 12$ ,  $12 \div 14$ ,  $14 \div 16$ ,  $> 16$  мм) также имел некоторые отличия, связанные, в первую очередь, с типами и количеством флюсующих добавок и различием в концентратах.

Таблица 1

Химический состав компонентов шихты

Наименование материала	Массовая доля компонента, %									
	Fe <sub>общ</sub>	Fe <sub>мет</sub>	FeO	CaO	SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	Na <sub>2</sub> O	п.п.п
Концентрат 66,6 % (база)	66,6	-	-	0,2	6,6	-	-	-	-	-
Концентрат 68,18% (1)	68,18	67,2	27,4	0,23	5	0,52	0,18	0,031	-	-
Концентрат 69,1% (2)	69,1	65,4	28,3	0,15	3,69	0,4	0,16	0,03	-	-
Бентонит	6,24	-	2,99	3,46	59,1	2,76	14,2		1,73	6,5
Известняк	-	-	-	52,2	2,18	-	1,7	-	-	-
Мп-известняк	1,15	-	0,22	44,9	6,18	1,07	-	9,53	-	35,4
Доломит	0,32	-	-	31,7	2,6	18,8	-	0,02	-	44,4

Приведенный эквивалентный диаметр окатышей имел близкие показатели, удовлетворяющие условиям проведения лабораторных опытов. Для определения прочностных характеристик окатышей использовался класс окатышей  $10 \div 12$  мм. Усреднённые качественные характеристики сырых, сухих и обожжённых окатышей полученные в опытах по стандартным методам измерения приведены в таблице 3. С целью определения усилия, при котором окатыши деформируются или разрушаются [5] измеряют прочностные характеристики сырых и сухих окатышей в соответствии с ТУ, разработанными у каждого производителя железорудных окатышей индивидуально (и связанными с особенностями используемого оборудования). Прочность сырых и сухих окатышей измеряли на приборе ИПГ-1М. Сбрасыванием на металлическую плиту (с высоты 500 мм) определяли пластичность сырых окатышей до его разрушения.

Соответствующую реальному расстоянию между нижним уровнем бункера загрузки сырых окатышей на ленту к обжиговой машине [6]. В России на всех фабриках производства окатышей это расстояние составляет от 300 мм до 500 мм [6]. Результаты сбрасывания и раздавлений считают усредненным значением. По ГОСТу 24765-81 определяли холодную прочность обожжённых окатышей под сжимающей их нагрузкой [6] на «разрывной» машине УТС 101-5 1-У.

Таблица 2

Общая таблица результатов лабораторных испытаний

Дата	№ опыта	Наименование опыта/добавки	Шихтовые добавки к концентрату, %				Качественные показатели сырых, сухих и обожжённых окатышей					
							Сырые окатыши				Сухие окатыши	Обж. окатыши
			Бентонит	Известняк	Доломит	Марганцовистый известняк	w, %	d <sub>зв</sub> , мм	n, раз/ок	P <sub>сыр</sub> , кг/ок	P <sub>сух</sub> , кг/ок	P <sub>обж</sub> , кг/ок
14.07.2020 (корзинки)	1	база	0,700	-	-	-	8,01	10,55	2,30	0,54	2,10	295
	2	к-т 1, н/о	0,700	-	-	-	7,99	10,44	2,00	0,61	2,20	294
	3	к-т 1, изв 0,25	0,700	1,89	-	-	7,95	12,37	2,18	0,54	2,44	280
	4	к-т 1, изв 0,5	0,700	4,19	-	-	7,86	10,57	2,04	0,59	2,75	229
21.07.2020 (корзинки)	5	к-т 1, долом 0,25	0,700	-	3,11	-	8,04	11,10	1,77	0,51	2,64	323
	6	к-т 1, долом 0,5	0,700	-	6,84	-	7,97	10,53	1,43	0,47	5,99	273
	1а	база	0,700	-	-	-	8,03	11,54	1,50	0,57	1,94	300
	7	к-т 1, марг. изв 0,25	0,700	-	-	2,24	7,69	10,56	1,90	0,57	2,35	251
29.07.2020 (корзинки)	8	к-т 1, марг. изв 0,5	0,700	-	-	5,26	8,20	10,30	1,80	0,60	2,33	169
	1а Д к	база	0,700	-	-	-	7,89	9,11	2,27	0,50	2,07	293
	6 Д к	к-т 1, долом 0,5	0,700	-	6,84	-	8,75	12,28	2,27	0,62	4,21	245
	1а Р к	база	0,700	-	-	-	8,26	12,17	2,57	0,48	2,13	367
05.08.2020 (корзинки)	6 Р к	к-т 1, долом 0,5	0,700	-	6,84	-	8,16	11,19	2,40	0,49	4,89	286
	1	база	0,700	-	-	-	8,67	11,77	2,27	0,51	1,89	319
	2	к-т 1, н/о	0,700	-	-	-	8,55	11,05	2,10	0,56	2,10	308
	3	к-т 1, изв 0,25	0,700	1,89	-	-	8,25	9,97	2,13	0,65	2,34	257
17.08.2020 (корзинки)	4	к-т 1, изв 0,5	0,700	4,19	-	-	8,41	11,08	2,63	0,75	2,68	187
	4.1	к-т 1, изв 0,5	0,700	4,19	-	-	8,20	10,97	1,87	0,71	2,04	259
	5.1	к-т 1, долом 0,25	0,700	-	3,11	-	8,38	10,75	1,80	0,63	1,94	329
	4.2	к-т 1, изв 0,5	0,700	4,19	-	-	8,53	11,03	2,20	0,72	2,43	268
26.08.2020 (корзинки)	5.2	к-т 1, долом 0,25	0,700	-	3,11	-	8,42	10,99	1,90	0,50	2,00	348
	9.1	к-т 2, н/о	0,700	-	-	-	9,63	10,51	3,40	0,86	2,22	346
	9.2	к-т 2, н/о	0,700	-	-	-	8,70	9,65	2,63	0,81	2,01	345
	1	база	0,700	-	-	-	8,22	11,17	2,43	0,61	1,77	286
01-02.09.2020 (пробники)	2	к-т 1, н/о	0,700	-	-	-	8,34	10,90	2,43	0,59	1,86	344
	9	к-т 2, н/о	0,700	-	-	-	8,44	11,05	3,37	1,00	2,61	358
	1	база	0,700	-	-	-	7,75	11,80	2,40	0,72	1,27	298
	9	к-т 2, н/о	0,700	-	-	-	8,70	12,16	3,63	0,81	2,28	341
08.09.2020 (корзинки)	10	к-т 2, изв 0,25	0,700	1,43	-	-	8,31	11,54	3,17	0,81	1,99	383
	11	к-т 2, изв 0,5	0,700	3,16	-	-	8,38	11,64	3,77	0,84	1,57	363
	12	к-т 2, долом 0,25	0,700	-	2,36	-	8,10	10,79	2,67	0,74	1,37	360
	13	к-т 2, долом 0,5	0,700	-	5,19	-	7,93	11,01	2,40	0,76	3,95	375
09.09.2020 (корзинки)	14	к-т 2, марг. изв 0,25	0,700	-	-	1,70	8,10	11,23	3,50	1,02	1,90	353
	15	к-т 2, марг. изв 0,5	0,700	-	-	3,83	8,13	10,95	4,17	0,93	2,41	332
20.10.2020 (пробники)	3	к-т 1, изв 0,25	0,700	1,89	-	-	8,13	10,74	2,33	0,80	1,64	288
	5	к-т 1, долом 0,25	0,700	-	3,11	-	8,04	10,63	2,40	0,65	1,69	263
	7	к-т 1, марг. изв 0,25	0,700	-	-	2,24	8,16	10,45	2,43	0,73	1,76	291
	10	к-т 2, изв 0,25	0,700	1,43	-	-	8,00	10,67	2,73	0,93	2,89	299
21.10.2020 (пробники)	13	к-т 2, долом 0,5	0,700	-	5,19	-	7,74	11,06	3,37	1,04	5,24	314
	14	к-т 2, марг. изв 0,25	0,700	-	-	1,70	8,02	10,67	3,87	1,00	2,64	330
	4	к-т 1, изв 0,5	0,700	4,19	-	-	7,74	10,64	2,23	0,73	1,88	269
	6	к-т 1, долом 0,5	0,700	-	6,84	-	7,40	11,11	2,43	0,78	6,61	227
28.10.2020 (пробники)	8	к-т 1, марг. изв 0,5	0,700	-	-	5,26	7,88	11,07	2,33	0,80	2,31	215
	11	к-т 2, изв 0,5	0,700	3,16	-	-	7,69	11,28	2,23	0,82	1,11	207
	12	к-т 2, долом 0,25	0,700	-	2,36	-	7,89	11,42	3,37	0,84	2,00	279
	15	к-т 2, марг. изв 0,5	0,700	-	-	3,83	7,77	10,68	3,17	1,04	2,89	276

На рисунке 1 представлены графики качественных характеристик окатышей при различных типах концентратов и флюсующих добавок.

Таблица 3

## Качественные характеристики сырых, сухих и обожжённых окатышей

№ опыта	Наименование опыта/добавки	Качественные показатели сырых, сухих и обожжённых окатышей					
		Сырые окатыши				Сухие окатыши	Обож. окатыши
		$W$ ,	$d_{\text{ЭКВ}}$ ,	$n$ ,	$P_{\text{сыр}}$ ,	$P_{\text{сух}}$ ,	$P_{\text{об}}$ ,
		%	мм	раз/ок	кг/ок	кг/ок	кг/ок
1	база	8,12	11,16	2,25	0,56	1,88	308
2	к-т 1, н/о	8,29	10,80	2,18	0,59	2,06	315
3	к-т 1, изв 0,25	8,11	11,03	2,22	0,66	2,14	275
4	к-т 1, изв 0,5	8,15	10,86	2,19	0,70	2,36	243
5	к-т 1, долом 0,25	8,22	10,87	1,97	0,57	2,07	316
6	к-т 1, долом 0,5	8,07	11,28	2,13	0,59	5,43	258
7	к-т 1, марг. изв 0,25	7,92	10,50	2,17	0,65	2,06	271
8	к-т 1, марг. изв 0,5	8,04	10,68	2,07	0,70	2,32	192
9	к-т 2, н/о	8,87	10,84	3,26	0,87	2,28	348
10	к-т 2, изв 0,25	8,16	11,10	2,95	0,87	2,44	341
11	к-т 2, изв 0,5	8,04	11,46	3,00	0,83	1,34	285
12	к-т 2, долом 0,25	7,99	11,11	3,02	0,79	1,68	320
13	к-т 2, долом 0,5	7,83	11,03	2,88	0,90	4,60	345
14	к-т 2, марг. изв 0,25	8,06	10,95	3,68	1,01	2,27	342
15	к-т 2, марг. изв 0,5	7,95	10,82	3,67	0,99	2,65	304

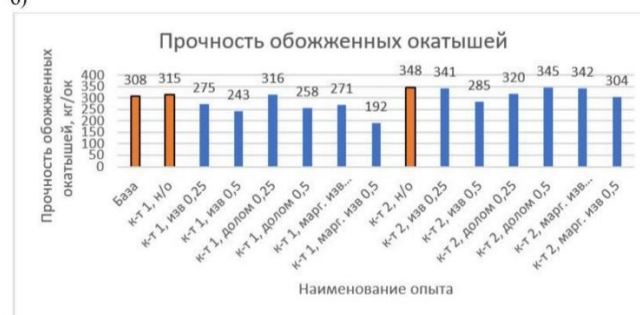
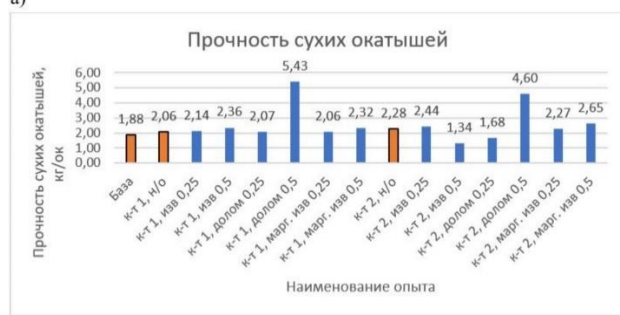
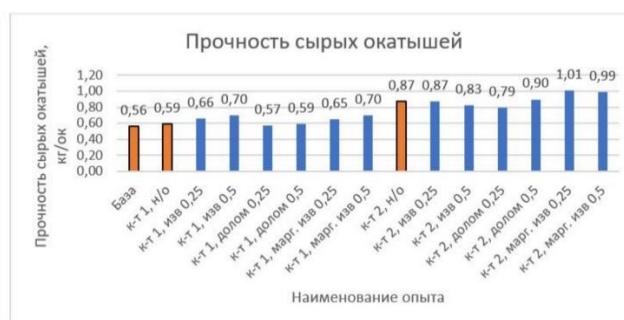


Рис. 1. Усреднённые качественные характеристики окатышей:  
 а – пластичность сырых; б – прочность сырых; в – прочность сухих;  
 г – прочность обожжённых

Диапазон колебаний среднемассового диаметра сырых окатышей за весь период испытаний составлял от 10,98 мм до 12,37 мм (изменение составило 12,7 %, отн., табл. 2). В результате введения дополнительного количества флюсующих добавок (увеличения основности с 0,25 до 0,5) среднемассовый диаметр окатышей имел, в основном, тенденцию к уменьшению (табл. 2), связанную с тем, что вводимые в состав окатышей флюсующие добавки также дополнительно обладают слабо выраженными связующими свойствами. Сравнительный анализ изменения усредненного среднемассового диаметра сырых окатышей с увеличением количества флюса (табл. 3) не отражает однозначность отмеченной ранее тенденции, вероятно связанной с большой погрешностью при усреднении большого количества опытов с разным количеством дублей, произведенных в разное время с силу особенностей лабораторных накаток.

Анализ показателей пластичности сырых окатышей (табл. 2) показывает, что ее величина в большей степени связана с влажностью (с увеличением влажности увеличивается пластичность), но также связана с количеством флюса. Так, прослеживается тенденция первоначального увеличения пластичности сырых окатышей при введении небольшого количества флюсующих добавок (основность 0,25), однако дальнейшее увеличение количества вводимого флюса (основность 0,5) приводит к обратному некоторому ее снижению. Тенденций зависимости пластичности от вида флюсующей добавки не выявлено. Рассматривая показатели пластичности во всем периоде испытаний, следует отметить широкий диапазон ее изменения (от 1,43 раз/ок до 4,17 раз/ок).

Рассматривая данные по сравнительным усредненным показателям пластичности сырых окатышей каждой из 15 проб (табл. 3, рис. 1, а), отмечено общее падение ее показателя от окатышей из «базового» концентрата (2,25 раз/ок) к окатышам «опытного» концентрата № 1 ( $1,97 \div 2,22$  раз/ок, т.е. усредненно на 5,2 %, отн.) и увеличение к окатышам «опытного» концентрата № 2 ( $2,88 \div 3,68$  раз/ок, т.е. усредненно на 42,6 %, отн.).

Сравнивая полученные в ходе проведения опытов данные по прочностным характеристикам сырых окатышей (табл. 2), не выявлено значимых зависимостей между влажностью и прочностью сырых окатышей. Тенденция зависимости изменения прочности сырых окатышей с изменением их влажности при увеличении количества вводимого флюса также имеет разноплановый характер.

Сравнительный анализ усредненных прочностей сырых окатышей (табл. 3, рис. 1, б) показывает, относительно опытов на «базовом» концентрате (0,56 кг/ок), некоторое увеличение при использовании «опытного» концентрата № 1 ( $0,57 \div 0,70$  кг/ок, т.е. усредненно на 13,8 %, отн.) и значительный рост при использовании «опытного» концентрата № 2 ( $0,79 \div 1,01$  кг/ок, т.е. усредненно на 59,7 %, отн.).

Согласно накопленной статистической информации, существуют некоторые общие зависимости изменения прочностей сухих окатышей при изменении прочностей сырых (при увеличении первых, вторые увеличиваются

соответственно). Анализ данных, представленных в табл. 2, не отражает данную взаимосвязь.

Отмечен значительный рост прочности сухих окатышей (табл. 3, рис. 1, в) при повышении количества вводимого доломита до основности 0,5, так прочность на окатышах из «опытного» концентрата № 1 составила 5,43 кг/ок (увеличение на 188,8 %, отн, относительно «базового» концентрата – прочность 1,88 кг/ок), а на окатышах из «опытного» концентрата № 2 – 4,60 кг/ок (увеличение на 144,7 %, отн, относительно «базового» концентрата). При этом введение доломита с основностью 0,25 практически сопоставимо, с «базовыми» показателями по прочности сухих окатышей (2,07 кг/ок и 1,68 кг/ок, соответственно).

Анализ изменения усредненной прочности сухих окатышей (рис. 1, в) при использовании разных концентратов, показывает общее некоторое увеличение прочностей при повышении содержания железа в концентратах («опытные» концентраты № 1 и № 2, относительно «базового») от 1,88 кг/ок до 2,06÷2,65 кг/ок, за исключением опытов с концентратом № 2 с добавкой известняка до основности 0,5 (1,34 кг/ок) и доломита до основности 0,25 (1,68 кг/ок) по обожженным окатышам.

Анализируя данные показателей прочности обожженных окатышей (табл. 2), определены значительные расхождения в результатах прочностей обожженных окатышей, полученных в отдельных опытах (от 169 кг/ок до 383 кг/ок). Определяя влияние основности на прочностные характеристики, выявлено, что при введении в состав окатышей флюсующей добавки до основности по обожженным окатышам 0,25 результат изменения прочности окатышей имеет разноплановый характер, дальнейшее же увеличение флюсующей добавки до основности 0,5 имеет общую тенденцию снижения прочности обожженных окатышей.

Сравнивая усредненные показатели прочности обожженных окатышей (табл. 3, рис. 1, г) выявлено, что окатыши, полученные из «опытного» концентрата № 1, имеют незначительно сниженные показатели усредненной по всем опытам (№ 2÷8) прочности окатышей по сравнению с окатышами из «базового» концентрата (192÷316 кг/ок и 308 кг/ок, соответственно, т.е. снижение составило в среднем 13,3 %, отн.). В тестах с использованием «опытного» концентрата № 2 (опыты № 9÷15) произошло незначительное повышение прочностных характеристик обожженных окатышей относительно работы на «базовом» концентрате (285÷348 кг/ок, т.е. повышение составило в среднем 6,0 %, отн.).

Рассматривая влияние отдельных флюсов на прочностные показатели обожженных окатышей, в тестах с получением офлюсованных окатышей на «опытном» концентрате № 1 (опыты № 3÷8) наблюдается практически идентичная прочность при введении доломита до основности 0,25 (316 кг/ок – опыт № 5) по сравнению с прочностью неофлюсованных окатышей (315 кг/ок – опыт № 2), а также ее снижение при введении известняка (до 275 кг/ок, на 12,7 %, отн. – опыт № 3) и марганцовистого известняка (до 271 кг/ок, на 14,0 %, отн. – опыт № 7) с основностью 0,25. При увеличении основности обожженных



окатышей до 0,5 происходит резкое снижение прочностей (относительно неофлюсованных окатышей) (опыт № 1), при известняке до 243 кг/ок (на 22,9 %, отн. – опыт № 4), доломите до 258 кг/ок (на 18,1 %, отн. – опыт № 6), марганцовистом известняке до 192 кг/ок (на 39,0 %, отн. – опыт № 8).

Сравнительный анализ тестовых испытаний с введением в состав окатышей флюсующих добавок при работе на «опытном» концентрате № 2 (опыты № 10÷15), по сравнению с работой на неофлюсованных окатышах (опыт № 9, прочность 348 кг/ок), показал также повсеместное снижение прочностных характеристик, при введении до основности 0,25 известняка до 341 кг/ок (на 2,0 %, отн. – опыт № 10), доломита до 320 кг/ок (на 8,0 %, отн. – опыт № 12), марганцовистого известняка до 342 кг/ок (на 1,7 %, отн. – опыт № 14). С увеличением основности обожженных окатышей до 0,5 с введением известняка прочность снижается до 285 кг/ок (на 18,1 %, отн. – опыт № 11), доломита до 345 кг/ок (на 0,9 %, отн. – опыт № 13), марганцовистого известняка до 304 кг/ок (на 12,6 %, отн. – опыт № 15).

*Выводы.* Таким образом, не отмечено общего ухудшения прочностных характеристик сырых и «сухих» окатышей, накатываемых из концентратов с повышенным содержанием железа. При этом окатыши из «опытного» концентрата № 2, по сравнению с окатышами из «базового» концентрата, имели усредненные повышенные прочностные характеристики. Также следует отметить резкое увеличение прочности сухих окатышей с добавкой в них доломита до основности 0,5 по обожженным окатышам. Прочность обожженных неофлюсованных окатышей с использованием «опытного» концентрата № 1, относительно опытов с использованием «базового» концентрата, находится на близком уровне, но при офлюсовании окатышей падает, и тем заметнее, чем выше основность. В отличие от общей тенденции падения окатыши с использованием доломита с основностью 0,25 имеют даже немного увеличенную (относительно «базы») прочность. Окатыши с использованием «опытного» концентрата № 2 повсеместно выше по прочности, чем окатыши из «базового» концентрата.

Соответственно, в результате проведенной серии опытов по производству неофлюсованных и офлюсованных окатышей из концентратов с различным содержанием Fe, не отмечено общего значимого ухудшения прочностных характеристик сырых, «сухих» и обожженных окатышей.

### **Список использованных источников**

1. Абзалов В.М., Евстюгин С.Н., Клейн В.И. Тепловая работа обжиговых конвейерных машин. – Екатеринбург: УрО РАН, 2012. – 248 с.
2. Журавлев Ф.Н., Малышева Т.Я. Окатыши из концентратов железистых кварцитов. – М.: Металлургия, 1991. – 127 с.
3. Абзалов В.М., Горбачев Б.А., Евстюгин С.Н., Клейн В.И. Физико-химические и теплотехнические основы производства железорудных окатышей. Под ред. Леонтьева Л.И. – Екатеринбург: УрО РАН, 2012. – 397 с.

4. Геердес М. Современный доменный процесс / Р.Ченьо, И. Курунов, О.Лингарди, Дж.Рикеттс; под ред. И.Ф. Курунова, 3-е изд. – М.: ООО «Металлургиздат», 2016. – 274 с.

5. Юсфин Ю.С., Базилевич Т.Н. Обжиг железорудных окатышей. – М.: Metallurgia, 1973. – 272 с.

6. Теплофизические основы тепловой работы металлургических слоевых печей и агрегатов: учебное пособие / Ю.Г. Ярошенко, В.С. Швыдкий, Н.А. Спирин, В.И. Матюхин, В.В. Лавров; под ред. Ю.Г. Ярошенко. – Екатеринбург: АМК «День РА», 2019. – 464 с.

УДК 669-9

**Ф. Р. Сагдуллин, В. А. Гольцев**

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

## **ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ПРОХОДНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЕЧИ ОАО «ВИЗ»**

**Аннотация.** Данная работа посвящена отчету теплотехнического обследования проходной электрической печи, которая функционирует в цехе ванн и моек ОАО «ВИЗ». По полученным результатам теплотехнических расчетов и тепловизионного обследования сделаны выводы по необходимым мероприятиям для повышения эффективности работы и предотвращения дальнейшего развития повреждения, а также полностью изучен теплообмен в рабочем пространстве печи.

**Ключевые слова:** теплотехника, материальный баланс, тепловой баланс, проходная электрическая печь, конструкция печи.

**Abstract.** This work is devoted to the report of the heat engineering survey of a continuous electric furnace, which operates in the baths and sinks workshop of OAO VIZ (VIZ, JSC). Based on the obtained results of thermal engineering calculations and thermal imaging survey, conclusions were drawn on the necessary measures to increase the efficiency of work and prevent further development of damage, and the heat transfer in the working space of the furnace was also fully studied.

**Key words:** heat engineering, material balance, heat balance, continuous electric furnace, furnace design.

Для обжига предварительно нанесенного слоя фритты на поверхности металлических ванн, в цехе их производства установлена проходная электрическая печь с элементами циркуляции воздушного потока. Печь представляет собой футерованный волокнистыми материалами тупиковый канал (рис. 1) с одним входом подачи с помощью транспортера подвешенных на крючки ванн. Для обжига предварительно нанесенного слоя фритты на поверхности металлических ванн, в цехе их производства установлена проходная электрическая печь с элементами циркуляции воздушного потока.

Ванны подаются непрерывным транспортером с одной стороны канала, далее они проходят через зоны сушки (1), подогрева (2) и поступают в зону